

輻輳眼球運動課題により賦活された脳内部位

板東武彦*・長谷部 日*・小山田 浩*・木之村重男**
川島隆太**・尾内康臣***・高田律子*・塚田秀夫****
高木峰夫*・鶴飼一彦*****・吉川悦次**

* 新潟大学 医学部
〒951 新潟市旭町通1番町

** 東北大学 加齢医学研究所
〒980-77 仙台市青葉区星稜町4-1

*** 浜松医療センター
〒434 浜北市平口5000

**** 浜松ホトニクス
〒434 浜北市平口5000

***** 日本福祉大学 情報社会科学部
〒475 愛知県半田市東生見町26-2

1. はじめに

輻輳眼球運動は奥行き視覚・両眼立体視に重要な役割を果たす非共役性の眼球運動である。近年、とくに強膜磁気コイル法を用いて両眼の眼球運動を定量的に測定できるようになって以来、人を被験者とする心理生理学的研究、動物を用いた神経生理学的研究が共に行われ、輻輳運動に対する大脳の寄与が示唆された。しかし、輻輳運動に関わるヒト大脳領野についての知見は乏しい。

動物を用いた研究では、サル・ネコともに頭頂葉後部の空間視に関する高次視覚領(V5に代表される)が輻輳運動に関与することが示された^{2,4)}。サルのV5(MT野)は頭頂葉後部の上側頭溝壁にあるが、人のV5はこれより腹外側の後頭・側頭接合部にある^{5,6)}。このような種間差異を考慮すると、動物実験による

1997年夏期研究会(7月29日)ポスター

神経生理学的なニューロン回路分析と人の心理生理学的研究を対比させ、人輻輳運動制御の脳内機構を解明するためには、人において輻輳運動に関わる大脳領野のマッピングを行い、動物との差異を把握することが必須である。人の大脳マッピングを行う手法としては、近年進展の著しい医療画像診断法が最適である。核磁気共鳴イメージング(MRI)は高磁場の影響のため、通常の電子機器を用いる研究はできないので、ポジトロン・エミッション・トモグラフィ(PET)を用いた。

2. 方法

ヘッドマウントディスプレイ(HMD)を介して視標が仮想的に接近する3次元視覚刺激課題⁷⁾を用い、被験者が視標運動に対する輻輳運動を遂行中にPET撮影を行い、局所脳血流量変化(rCBF)のマッピングを行った。被験

者は右効き手の健康な男性（25-34才，平均31才）6人を用いた。視覚刺激は2面式HMD（Glasstron，改造版，Sony；視角 $3^{\circ} \times 22^{\circ}$ ）の左右のパネルにイメージボード（CT-9800B，Cybertec，大阪）を介してフィールド順次的に与えた。視標（細い棒状：長さ 0.9° ）は両眼視差のみを手掛かりとして眼前2mから1mまで（両眼視差 1.9° ） 0.5 m/s の速度で接近し，眼前1mの点に到達するとすぐ，ステップ状に眼前2mまで戻り，1秒後に再び接近を始めた。視標運動試行はPET撮影直前30秒を含めて30回90秒間繰り返された。被験者は視標運動を追跡するように指示された。眼球運動は赤外線リンバストラッカー法（半田屋）により連続的に記録した。コントロール課題として注視課題を用いた。

注視課題では，被験者は眼前2mにある静止視標を注視するよう指示された。PET計測（SHR2400，浜松ホトニクス）には酸素15標識水（1回約 30 mCi ， 1.11 GBq ）の急速静注法を用いた。解剖学的標準化の後，輻轉課題・注視課題の画像の差をvoxel毎に求め，t値画像を求めた（閾値 8.61 ， $p < 0.0005$ ）⁸⁾。

3. 結果

輻轉眼球運動のサンプル記録を図1に示す。眼球運動の評価は20試行の平均輻轉振幅を計算し，注視課題中の眼球運動非共役成分（注視中のドリフトによる）の平均値と比較して行った。6人の被験者のうち5人は前者が後者よりも有意に大きく，輻轉課題に成功したと評価された。この5人についてPET画像処理を行った。残りの1人は，PET撮影前のテスト試行では輻轉が可能だったが，撮影中の輻轉運動は不良であった。

PET計測の結果，著しくrCBFが増加した領域は左後頭・側頭境界部（V5を含む），左下頭頂小葉，右紡錘回，右中前頭回（おそらく前頭眼野）であった（図2）。左右差を検討するために，rCBFが有意に増加した領域からなる関心領域（ROI）を設け，対側にこれと鏡像関係のROIを設けた。各々のROIの平均rCBFを各被験者について計算した。後頭・側頭境界部，下頭頂小葉，紡錘回については左右のROIの平均rCBFに有意差は認められなかった（t-検定， $P < 0.05$ ）が，中前頭回については有意差が認められた（ $P > 0.05$ ）。

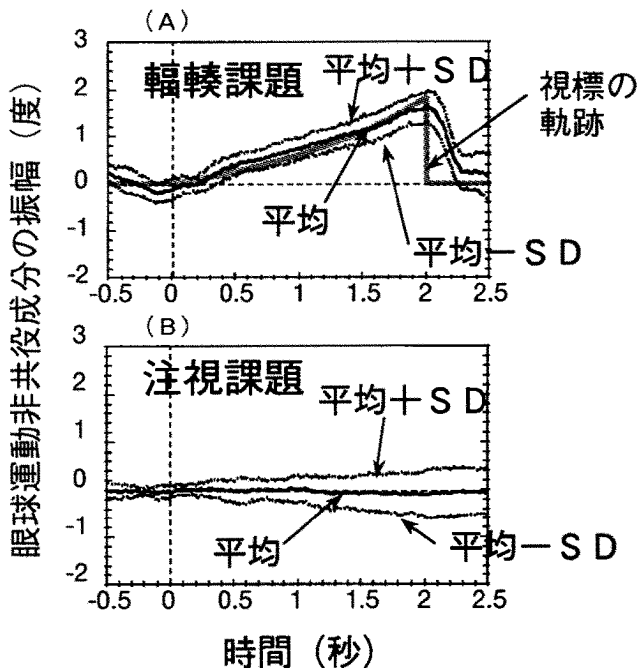


図1 輻轉運動のサンプル記録。A. 輻轉課題中の眼球運動の非共役性要素（輻轉運動）と視標の軌跡（太い灰色の曲線）を示す。B. 注視課題中に記録された眼球運動の非共役性要素。上向きが輻轉，下向きが開散運動を示す。3本の曲線のうち，中央が平均，上が平均+標準偏差（SD），下が平均-標準偏差を示す。横軸は時間，縦軸は相対的な眼球位置を示す。Aでは時間と共に輻轉運動が視標を追って起こった。視標運動は時間0（縦の点線）で開始された。水平の点線は振幅0を示す。Bでは時間とともに軽微なドリフトが認められた（SDに反映されている）が，輻轉要素の平均振幅はほぼ0であった。

従って、中前頭回以外は左右差がないものと結論された。

輻輳運動は両眼視差・大きさ変化・明るさ変化・パースペクティブなど奥行きに関する視覚の手掛りにより引き起こされ制御される。両眼視差・大きさ変化など一次的手掛り刺激は第一次視覚領 (V1) から第五次視覚領 (V5) までの間の空間視の視覚情報処理系で処理される。サル V5 は頭頂葉後部の上側頭溝周壁にあるが、この溝の表面刺激ならびに前頭葉弓状溝付近の表面刺激で輻輳運動が誘発されることは Jampel (1960)²⁾ が既に報告した。一方、人 V5 はサルと異なり、後頭・側頭接合部にある。本研究では従来の動物実験の示唆と一致し、前頭眼野およびその近傍の前頭葉、ならびに下頭頂小葉で rCBF が増加したが、それと共に後頭・側頭接合部の V5 を含んだ領域が賦活された。これは人とサルの種差を反映したものと考えられる。

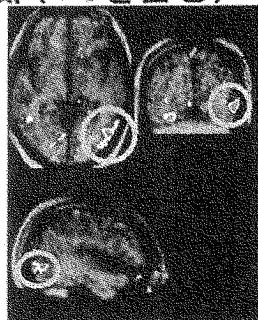
本研究では紡錘回でも rCBF が増加した。この領域は後頭葉底部にあり、PET による研究

では形・色の視覚刺激により賦活される⁹⁾ 一方で、オプティカルフロー図形のような奥行き運動の錯視図形でも賦活される¹⁰⁾。人ではサルと異なり視覚の腹側経路 (形態視経路) の空間視への関与が示唆されるが、単なる運動視の視覚刺激では紡錘回は賦活されない。本研究結果は輻輳運動に関連して紡錘回が賦活された可能性、課題遂行に伴う注意等に関与して紡錘回が賦活された可能性などを示唆する。

今回の結果からは、PET 撮影により検出された rCBF 増加が奥行き運動視覚刺激の提示によるものか、あるいは輻輳運動の遂行に伴って起こったのかを区別することはできない。しかし、単なる運動視覚刺激では前頭葉の賦活はみられない。ステレオグラムによる立体視刺激では、眼球運動が起こることが期待されるが、実際、幾つかの研究では前頭葉に rCBF の増加がみられた¹¹⁻¹²⁾。これらの既知の知見を考慮すると、中前頭回の脳血流増加は輻輳運動に伴って引き起こされた可能性

輻輳課題と注視課題の差 n=5

左後頭・側頭接合部 (V5を含む)



(A) 48, -70, -3
42, -82, -5

右紡錘回



(B) -41.20, 18

右中前頭回 (恐らく前頭眼野)



(C) -27, -63, -16

図2 解剖学的標準化を行ったMRI画像上に重ねた脳血流量のt値画像。有意に血流増加が認められた領域を○で囲んである。A. 左後頭・側頭接合部。B. 右中前頭回。C. 右紡錘回。各々、水平・前頭・矢状断面を示す。下に示す数字は血流増加のピーク値の座標を示す。座標はThalairach and Tournoux (1988) による。水平断面と前頭断面はAC-PC面を基準とし、矢状断面はAC面を基準とする。正の値が、左側、前側、背側を示す。

が大きい。頭頂葉ならびに後頭・側頭接合部の rCBF 増加については現在、輻輳運動についての非動タスクを用いた実験を行っているので、その結果をまとめて結論を出したい。これらの残された問題はあるものの、本研究の結果は、輻輳運動の脳内機構を解明するために必須の基礎を築いたことで重要な意義を持つと考えられる。

文 献

- 1) S. Fowler, N. Munro, A. Richardson and J. Stein: Vergence control in patients with lesions of the posterior parietal cortex. *Journal of Physiology, London*, 92, 1989.
- 2) R. S. Jampel: Convergence, divergence, pupillary reactions and accommodation of the eyes from faradic stimulation of the Macaque brain. *Journal of Comparative Neurology*, 115, 371-400, 1960.
- 3) H. Toda, M. Takagi, T. Yoshizawa and T. Bando: Disjunctive eye movement evoked by microstimulation in an extrastriate cortical area of the cat. *Neuroscience Research*, 12, 300-306, 1991.
- 4) M. Takagi, H. Toda and T. Bando: Extrastriate cortical neurons correlated with ocular convergence in the cat. *Neurosci Research*, 17, 141-158, 1993.
- 5) J. D. G. Watson, R. Myers, R. S. J. Frackowiak, J. V. Hajnal, R. P. Woods, J. C. Mazziotta, S. Shipp and S. Zeki: Area V5 of the human brain: Evidence from a combined study using positron emission tomography and magnetic resonance imaging. *Cerebral Cortex*, 3, 79-94, 1993.
- 6) P. Dupont, G. A. Orban, B. de Bruyn, A. Verbruggen and L. Mortelmans: Many areas in the human brain respond to visual motion. *Journal of Neurophysiology*, 72, 1420-1424, 1994.
- 7) H. Hasebe, H. Oyamada, K. Ukai, H. Toda and T. Bando: Changes in oculomotor functions before and after loading of a 3-D visually-guided task by using a head-mounted display. *Ergonomics*, 39, 1330-1343, 1996.
- 8) R. E. Roland, B. Levin, R. Kawashima and A. Akerman: Three-dimensional analysis of clustered voxels in 15O-butanol brain activation images. *Human Brain Mapping*, 1, 3-19, 1993.
- 9) J. V. Haxby, C. L. Grady, B. Horowitz, L. G. Ungerleider, J. M. Maisog, P. Pietrini and C. L. Grady: The functional organization of human extrastriate cortex: a PET-rCBF study of selective attention to faces and locations. *Journal of Neuroscience*, 14, 6336-6353, 1994.
- 10) B. M. de Jong, S. Shipp, B. Skidmore, R. S. J. Frackowiak and S. Zeki: The cerebral activity related to the visual perception of forward motion in depth. *Brain*, 117, 1039-1054, 1994.
- 11) B. Gulyas and P. E. Roland: Binocular disparity discrimination in human cerebral cortex: Functional anatomy by positron emission tomography. *Proceeding of National Academy of Science, USA*, 91, 1239-1243, 1994.
- 12) Y. Nagahama, Y. Takayama, H. Fukuyama, H. Yamauchi, S. Matsuzaki, Y. Magata, H. Shibasaki and J. Kimura: Functional anatomy on perception of position and motion in depth. *NeuroReport*, 7, 1717-1721, 1996.